

---

**Se precisar, utilize os valores das constantes aqui relacionadas.**

Constante dos gases:  $R = 8 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ . Pressão atmosférica ao nível do mar:  $P_0 = 100 \text{ kPa}$ .

Massa molecular do  $\text{CO}_2 = 44 \text{ u}$ . Calor latente do gelo:  $80 \text{ cal/g}$ . Calor específico do gelo:  $0,5 \text{ cal}/(\text{g}\cdot\text{K})$ .

$1 \text{ cal} = 4 \times 10^7 \text{ erg}$ . Aceleração da gravidade:  $g = 10,0 \text{ m/s}^2$ .

---

**Questão 1.** Um fio de comprimento  $L$  e massa específica linear  $\mu$  é mantido esticado por uma força  $F$  em suas extremidades. Assinale a opção com a expressão do tempo que um pulso demora para percorrê-lo.

A ( )  $\frac{2LF}{\mu}$       B ( )  $\frac{F}{2\pi L\mu}$       C ( )  $L\sqrt{\frac{\mu}{F}}$       D ( )  $\frac{L}{\pi}\sqrt{\frac{\mu}{F}}$       E ( )  $\frac{L}{2\pi}\sqrt{\frac{\mu}{F}}$

**Questão 2.** Uma pequena esfera metálica, de massa  $m$  e carga positiva  $q$ , é lançada verticalmente para cima com velocidade inicial  $v_0$  em uma região onde há um campo elétrico de módulo  $E$ , apontado para baixo, e um gravitacional de módulo  $g$ , ambos uniformes. A máxima altura que a esfera alcança é

A ( )  $\frac{v^2}{2g}$       C ( )  $\frac{v_0}{qmE}$       E ( )  $\sqrt{\frac{3mEqv_0}{8g}}$   
B ( )  $\frac{qe}{mv_0}$       D ( )  $\frac{mv_0^2}{2(qE + mg)}$

**Questão 3.** Uma massa puntiforme é abandonada com impulso inicial desprezível do topo de um hemisfério maciço em repouso sobre uma superfície horizontal. Ao descolar-se da superfície do hemisfério, a massa terá percorrido um ângulo  $\theta$  em relação à vertical. Este experimento é realizado nas três condições seguintes, **I**, **II** e **III**, quando são medidos os respectivos ângulos  $\theta_I$ ,  $\theta_{II}$  e  $\theta_{III}$ :

**I.** O hemisfério é mantido preso à superfície horizontal e não há atrito entre a massa e o hemisfério.

**II.** O hemisfério é mantido preso à superfície horizontal, mas há atrito entre a massa e o hemisfério.

**III.** O hemisfério e a massa podem deslizar livremente pelas respectivas superfícies.

Nestas condições, pode-se afirmar que

A ( )  $\theta_{II} < \theta_I$  e  $\theta_{III} < \theta_I$       C ( )  $\theta_{II} > \theta_I$  e  $\theta_{III} < \theta_I$       E ( )  $\theta_I = \theta_{III}$   
B ( )  $\theta_{II} < \theta_I$  e  $\theta_{III} > \theta_I$       D ( )  $\theta_{II} > \theta_I$  e  $\theta_{III} > \theta_I$

**Questão 4.** Considere um tubo horizontal cilíndrico de comprimento  $\ell$ , no interior do qual encontram-se respectivamente fixadas em cada extremidade de sua geratriz inferior as cargas  $q_1$  e  $q_2$ , positivamente carregadas. Nessa mesma geratriz, numa posição entre as cargas, encontra-se uma pequena esfera em condição de equilíbrio, também positivamente carregada. Assinale a opção com as respostas corretas na ordem das seguintes perguntas:

**I.** Essa posição de equilíbrio é estável?

**II.** Essa posição de equilíbrio seria estável se não houvesse o tubo?

**III.** Se a esfera fosse negativamente carregada e não houvesse o tubo, ela estaria em equilíbrio estável?

A ( ) Não. Sim. Não.      C ( ) Sim. Não. Não.      E ( ) Sim. Sim. Não.  
B ( ) Não. Sim. Sim.      D ( ) Sim. Não. Sim.

**Questão 5.** Considere as seguintes proposições sobre campos magnéticos:

**I.** Em um ponto  $P$  no espaço, a intensidade do campo magnético produzido por uma carga puntiforme  $q$  que se movimenta com velocidade constante ao longo de uma reta só depende da distância entre  $P$  e a reta.

**II.** Ao se aproximar um ímã de uma porção de limalha de ferro, esta se movimenta porque o campo magnético do ímã realiza trabalho sobre ela.

**III.** Dois fios paralelos por onde passam correntes uniformes num mesmo sentido se atraem.

Então,

**A** ( ) apenas I é correta.                      **C** ( ) apenas III é correta.                      **E** ( ) todas são erradas.

**B** ( ) apenas II é correta.                      **D** ( ) todas são corretas.

**Questão 6.** Uma chapa metálica homogênea quadrada de  $100 \text{ cm}^2$  de área, situada no plano  $xy$  de um sistema de referência, com um dos lados no eixo  $x$ , tem o vértice inferior esquerdo na origem. Dela, retira-se uma porção circular de  $5,00 \text{ cm}$  de diâmetro com o centro posicionado em  $x = 2,50 \text{ cm}$  e  $y = 5,00 \text{ cm}$ . Determine as coordenadas do centro de massa da chapa restante.

**A** ( )  $(x_c, y_c) = (6,51, 5,00) \text{ cm}$       **C** ( )  $(x_c, y_c) = (5,00, 5,61) \text{ cm}$       **E** ( )  $(x_c, y_c) = (5,00, 5,00) \text{ cm}$

**B** ( )  $(x_c, y_c) = (5,61, 5,00) \text{ cm}$       **D** ( )  $(x_c, y_c) = (5,00, 6,51) \text{ cm}$

**Questão 7.** No espaço sideral, luz incide perpendicular e uniformemente numa placa de gelo inicialmente a  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$  e em repouso, sendo 99% refletida e 1% absorvida. O gelo então derrete pelo aquecimento, permanecendo a água aderida à placa. Determine a velocidade desta após a fusão de 10% do gelo.

**A** ( )  $3 \text{ mm/s}$ .      **B** ( )  $3 \text{ cm/s}$ .      **C** ( )  $3 \text{ dm/s}$ .      **D** ( )  $3 \text{ m/s}$ .      **E** ( )  $3 \text{ dam/s}$ .

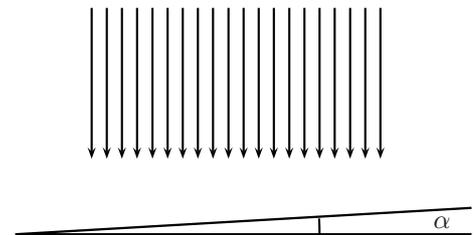
**Questão 8.** Um bloco cônico de massa  $M$  apoiado pela base numa superfície horizontal tem altura  $h$  e raio da base  $R$ . Havendo atrito suficiente na superfície da base de apoio, o cone pode ser tombado por uma força horizontal aplicada no vértice. O valor mínimo  $F$  dessa força pode ser obtido pela razão  $h/R$  dada pela opção

**A** ( )  $\frac{Mg}{F}$ .                      **C** ( )  $\frac{Mg + F}{Mg}$ .                      **E** ( )  $\frac{Mg + F}{2Mg}$ .

**B** ( )  $\frac{F}{Mg}$ .                      **D** ( )  $\frac{Mg + F}{F}$ .

**Questão 9.** Luz, que pode ser decomposta em componentes de comprimento de onda com  $480 \text{ nm}$  e  $600 \text{ nm}$ , incide verticalmente em uma cunha de vidro com ângulo de abertura  $\alpha = 3,00^\circ$  e índice de refração de  $1,50$ , conforme a figura, formando linhas de interferência destrutivas. Qual é a distância entre essas linhas?

- A** ( )  $11,5 \text{ } \mu\text{m}$
- B** ( )  $12,8 \text{ } \mu\text{m}$
- C** ( )  $16,0 \text{ } \mu\text{m}$
- D** ( )  $22,9 \text{ } \mu\text{m}$
- E** ( )  $32,0 \text{ } \mu\text{m}$

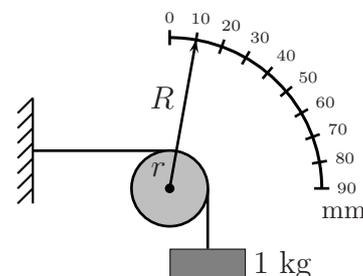


**Questão 10.** Um tubo em forma de U de seção transversal uniforme, parcialmente cheio até uma altura  $h$  com um determinado líquido, é posto num veículo que viaja com aceleração horizontal, o que resulta numa diferença de altura  $z$  do líquido entre os braços do tubo interdistantes de um comprimento  $L$ . Sendo desprezível o diâmetro do tubo em relação à  $L$ , a aceleração do veículo é dada por

**A** ( )  $\frac{2zg}{L}$ .      **B** ( )  $\frac{(h - z)g}{L}$ .      **C** ( )  $\frac{(h + z)g}{L}$ .      **D** ( )  $\frac{2gh}{L}$ .      **E** ( )  $\frac{zg}{L}$ .

**Questão 11.** A figura mostra um dispositivo para medir o módulo de elasticidade (módulo de Young) de um fio metálico. Ele é definido como a razão entre o força por unidade de área da seção transversal do fio necessária para esticá-lo e o resultante alongamento deste por unidade de seu comprimento. Neste particular experimento, um fio homogêneo de 1,0 m de comprimento e 0,2 mm de diâmetro, fixado numa extremidade, é disposto horizontalmente e preso pela outra ponta ao topo de uma polia de raio  $r$ . Um outro fio preso neste mesmo ponto, envolvendo parte da polia, sustenta uma massa de 1 kg. Solidário ao eixo da polia, um ponteiro de raio  $R = 10r$  acusa uma leitura de 10 mm na escala semicircular iniciada em zero. Nestas condições, o módulo de elasticidade do fio é de

- A ( )  $\frac{10^{12}}{\pi}$  N/m<sup>2</sup>.                      D ( )  $\frac{10^{12}}{4\pi}$  N/m<sup>2</sup>.  
 B ( )  $\frac{10^{12}}{2\pi}$  N/m<sup>2</sup>.                      E ( )  $\frac{10^{12}}{8\pi}$  N/m<sup>2</sup>.  
 C ( )  $\frac{10^{12}}{3\pi}$  N/m<sup>2</sup>.

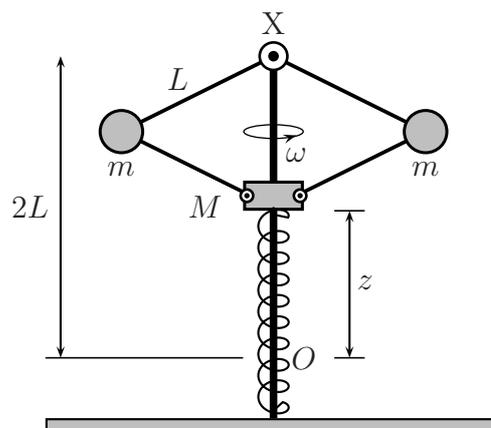


**Questão 12.** Assinale a alternativa **incorreta** dentre as seguintes proposições a respeito de campos gravitacionais de corpos homogêneos de diferentes formatos geométricos:

- A ( ) Num cubo, a linha de ação do campo gravitacional num dos vértices tem a direção da diagonal principal que parte desse vértice.  
 B ( ) Numa chapa quadrada de lado  $\ell$  e vazada no centro por um orifício circular de raio  $a < \ell/2$ , em qualquer ponto dos seus eixos de simetria a linha de ação do campo gravitacional é normal ao plano da chapa.  
 C ( ) Num corpo hemisférico, há pontos em que as linhas de ação do campo gravitacional passam pelo centro da sua base circular e outros pontos em que isto não acontece.  
 D ( ) Num toro, há pontos em que o campo gravitacional é não nulo e normal à sua superfície.  
 E ( ) Num tetraedro regular, a linha de ação do campo gravitacional em qualquer vértice é normal à face oposta ao mesmo.

**Questão 13.** Na figura, o eixo vertical giratório  $z$  acima de  $O$  dada por

imprime uma velocidade angular  $\omega = 10$  rad/s ao sistema composto por quatro barras iguais, de comprimento  $L = 1$  m e massa desprezível, graças a uma dupla articulação na posição fixa  $X$ . Por sua vez, as barras de baixo são articuladas na massa  $M$  de 2 kg que, através de um furo central, pode deslizar sem atrito ao longo do eixo e esticar uma mola de constante elástica  $k = 100$  N/m, a partir da posição  $O$  da extremidade superior da mola em repouso, a dois metros abaixo de  $X$ . O sistema completa-se com duas massas iguais de  $m = 1$  kg cada uma, articuladas às barras. Sendo desprezíveis as dimensões das massas, então, a mola distender-se-á de uma altura



- A ( ) 0,2 m                      B ( ) 0,5 m                      C ( ) 0,6 m                      D ( ) 0,7 m                      E ( ) 0,9 m

**Questão 14.** Considere as quatro proposições seguintes:

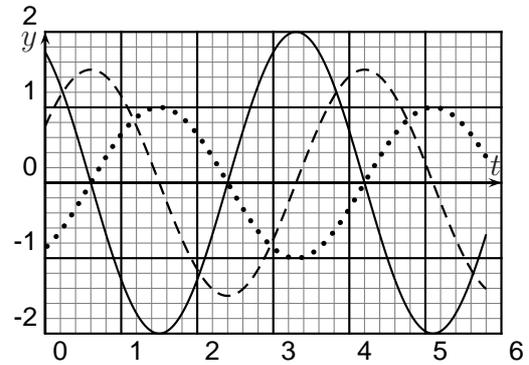
- I. Os isótopos  $^{16}\text{O}$  e  $^{18}\text{O}$  do oxigênio diferenciam-se por dois neutrons.
- II. Sendo de 24000 anos a meia-vida do  $^{239}\text{Pu}$ , sua massa de 600 g reduzir-se-á a 200 g após 72000 anos.
- III. Um núcleo de  $^{27}\text{Mg}$  se transmuta em  $^{28}\text{Al}$  pela emissão de uma partícula  $\beta$ .
- IV. Um fóton de luz vermelha incide sobre uma placa metálica causando a emissão de um elétron. Se esse fóton fosse de luz azul, provavelmente ocorreria a emissão de dois ou mais elétrons.

Então,

- A ( ) apenas uma das proposições é correta.
- B ( ) apenas duas das proposições são corretas.
- C ( ) apenas três das proposições são corretas.
- D ( ) todas elas são corretas.
- E ( ) nenhuma delas é correta.

**Questão 15.** Na figura, as linhas cheia, tracejada e pontilhada representam a posição, a velocidade e a aceleração de uma partícula em um movimento harmônico simples. Com base nessas curvas assinale a opção correta dentre as seguintes proposições:

- I. As linhas cheia e tracejada representam, respectivamente, a posição e a aceleração da partícula.
- II. As linhas cheia e pontilhada representam, respectivamente, a posição e a velocidade da partícula.
- III. A linha cheia necessariamente representa a velocidade da partícula.



- A ( ) Apenas I é correta.
- B ( ) Apenas II é correta.
- C ( ) Apenas III é correta.
- D ( ) Todas são incorretas.
- E ( ) Não há informações suficientes para análise.

**Questão 16.** Numa expansão muito lenta, o trabalho efetuado por um gás num processo adiabático é

$$W_{12} = \frac{P_1 V_1^\gamma}{1 - \gamma} (V_2^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma}),$$

em que  $P, V, T$  são, respectivamente, a pressão, o volume e a temperatura do gás, e  $\gamma$  uma constante, sendo os subscritos 1 e 2 representativos, respectivamente, do estado inicial e final do sistema. Lembrando que  $PV^\gamma$  é constante no processo adiabático, esta fórmula pode ser reescrita deste modo:

- A ( )  $\frac{P_1 [V_1 - V_2 (T_2/T_1)^{\gamma/(\gamma-1)}]}{\ln(T_2/T_1)/\ln(V_1/V_2)}$
- B ( )  $\frac{P_2 [V_1 - V_2 (T_2/T_1)^{\gamma/(\gamma-1)}]}{\ln(T_2/T_1)/\ln(V_2/V_1)}$
- C ( )  $\frac{P_2 [V_1 - V_2 (T_2/T_1)^{\gamma/(\gamma-1)}]}{\ln(T_2/T_1)/\ln(V_1/V_2)}$
- D ( )  $\frac{P_1 [V_1 - V_2 (T_2/T_1)^{\gamma/(\gamma-1)}]}{\ln(T_2/T_1)/\ln(V_2/V_1)}$
- E ( )  $\frac{P_2 [V_1 - V_2 (T_2/T_1)^{\gamma/(\gamma-1)}]}{\ln(T_1/T_2)/\ln(V_2/V_1)}$

**Questão 17.** Assinale a alternativa que expressa o trabalho necessário para colocar cada uma de quatro cargas elétricas iguais,  $q$ , nos vértices de um retângulo de altura  $a$  e base  $2a\sqrt{2}$ , sendo  $k = 1/4\pi\epsilon_0$ , em que  $\epsilon_0$  é a permissividade elétrica do vácuo.

A ( )  $\frac{k(4 + \sqrt{2})q^2}{2a}$

C ( )  $\frac{k(16 + 3\sqrt{2})q^2}{6a}$

E ( )  $\frac{k(12 + 3\sqrt{2})q^2}{2a}$

B ( )  $\frac{k(8 + 2\sqrt{2})q^2}{2a}$

D ( )  $\frac{k(20 + 3\sqrt{2})q^2}{6a}$

**Questão 18.** Uma espira quadrada, feita de um material metálico homogêneo e rígido, tem resistência elétrica  $R$  e é solta em uma região onde atuam o campo gravitacional  $\mathbf{g} = -g\mathbf{e}_z$  e um campo magnético

$$\mathbf{B} = \frac{B_0}{L} (-x\mathbf{e}_x + z\mathbf{e}_z).$$

Inicialmente a espira encontra-se suspensa, conforme a figura, com sua aresta inferior no plano  $xy$  num ângulo  $\alpha$  com o eixo  $y$ , e o seu plano formando um ângulo  $\beta$  com  $z$ . Ao ser solta, a espira tende a

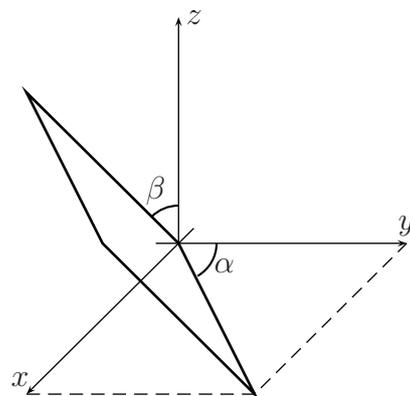
A ( ) girar para  $\alpha > 0^\circ$  se  $\alpha = 0^\circ$  e  $\beta = 0^\circ$ .

B ( ) girar para  $\alpha < 45^\circ$  se  $\alpha = 45^\circ$  e  $\beta = 0^\circ$ .

C ( ) girar para  $\beta < 90^\circ$  se  $\alpha = 0^\circ$  e  $\beta = 90^\circ$ .

D ( ) girar para  $\alpha > 0^\circ$  se  $\alpha = 0^\circ$  e  $\beta = 45^\circ$ .

E ( ) não girar se  $\alpha = 45^\circ$  e  $\beta = 90^\circ$ .



**Questão 19.** Um muon de meia-vida de  $1,5 \mu\text{s}$  é criado a uma altura de 1 km da superfície da Terra devido à colisão de um raio cósmico com um núcleo e se desloca diretamente para o chão. Qual deve ser a magnitude mínima da velocidade do muon para que ele tenha 50% de probabilidade de chegar ao chão?

A ( )  $6,7 \times 10^7 \text{ m/s}$    B ( )  $1,2 \times 10^8 \text{ m/s}$    C ( )  $1,8 \times 10^8 \text{ m/s}$    D ( )  $2,0 \times 10^8 \text{ m/s}$    E ( )  $2,7 \times 10^8 \text{ m/s}$

**Questão 20.** Luz de uma fonte de frequência  $f$  gerada no ponto P é conduzida através do sistema mostrado na figura. Se o tubo superior transporta um líquido com índice de refração  $n$  movendo-se com velocidade  $u$ , e o tubo inferior contém o mesmo líquido em repouso, qual o valor mínimo de  $u$  para causar uma interferência destrutiva no ponto P'?

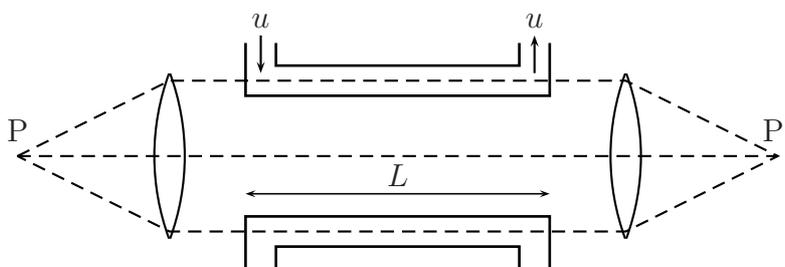
A ( )  $\frac{c^2}{2nLf}$

B ( )  $\frac{c^2}{2Lfn^2 - cn}$

C ( )  $\frac{c^2}{2Lfn^2 + cn}$

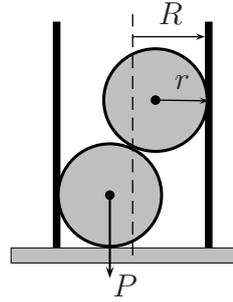
D ( )  $\frac{c^2}{2Lf(n^2 - 1) - cn}$

E ( )  $\frac{c^2}{2Lf(n^2 - 1) + cn}$

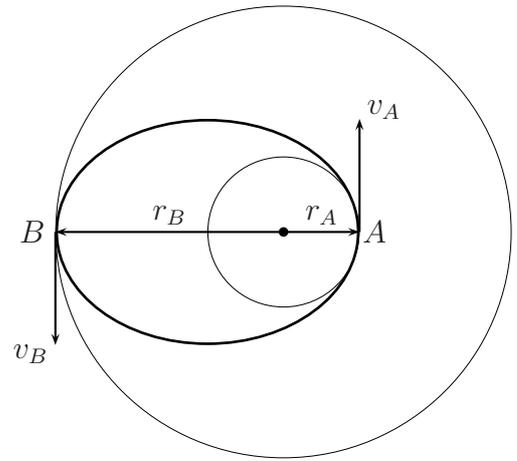


As questões dissertativas, numeradas de 21 a 30,  
devem ser desenvolvidas, justificadas e respondidas no caderno de soluções

**Questão 21.** A figura mostra um tubo cilíndrico de raio  $R$  apoiado numa superfície horizontal, em cujo interior encontram-se em repouso duas bolas idênticas, de raio  $r = 3R/4$  e peso  $P$  cada uma. Determine o peso mínimo  $P_c$  do cilindro para que o sistema permaneça em equilíbrio.



**Questão 22.** Uma nave espacial segue inicialmente uma trajetória circular de raio  $r_A$  em torno da Terra. Para que a nave percorra uma nova órbita também circular, de raio  $r_B > r_A$ , é necessário por razões de economia fazer com que ela percorra antes uma trajetória semi-elíptica, denominada órbita de transferência de Hohmann, mostrada na figura. Para tanto, são fornecidos à nave dois impulsos, a saber: no ponto  $A$ , ao iniciar sua órbita de transferência, e no ponto  $B$ , ao iniciar sua outra órbita circular. Sendo  $M$  a massa da Terra;  $G$ , a constante da gravitação universal;  $m$  e  $v$ , respectivamente, a massa e a velocidade da nave; e constante a grandeza  $mr v$  na órbita elíptica, pede-se a energia necessária para a transferência de órbita da nave no ponto  $B$ .

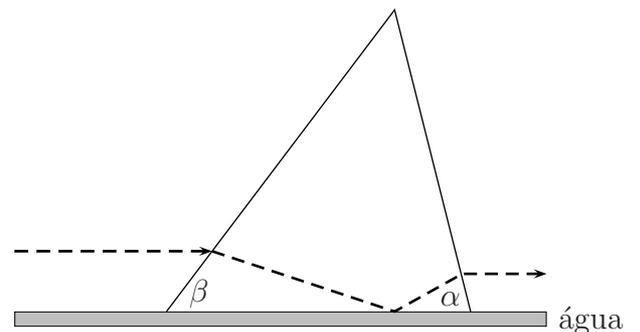


**Questão 23.** Num copo de guaraná, observa-se a formação de bolhas de  $CO_2$  que sobem à superfície. Desenvolva um modelo físico simples para descrever este movimento e, com base em grandezas intervenientes, estime numericamente o valor da aceleração inicial de uma bolha formada no fundo do copo.

**Questão 24.** Uma carga  $q$  ocupa o centro de um hexágono regular de lado  $d$  tendo em cada vértice uma carga idêntica  $q$ . Estando todas as sete cargas interligadas por fios inextensíveis, determine as tensões em cada um deles.

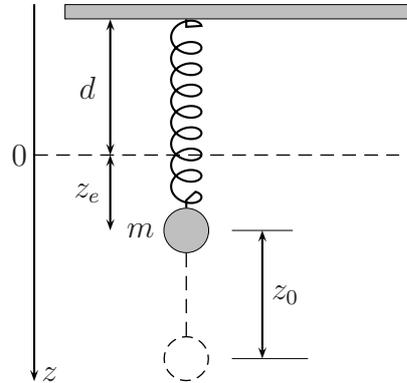
**Questão 25.** Neutrons podem atravessar uma fina camada de chumbo, mas têm sua energia cinética absorvida com alta eficiência na água ou em materiais com elevada concentração de hidrogênio. Explique este efeito considerando um neutron de massa  $m$  e velocidade  $v_0$  que efetua uma colisão elástica e central com um átomo qualquer de massa  $M$  inicialmente em repouso.

**Questão 26.** A base horizontal de um prisma de vidro encontra-se em contato com a superfície da água de um recipiente. A figura mostra a seção reta triangular deste prisma, com dois de seus ângulos,  $\alpha$  e  $\beta$ . Um raio de luz propaga-se no ar paralelamente à superfície da água e perpendicular ao eixo do prisma, nele incidindo do lado do ângulo  $\beta$ , cujo valor é tal que o raio sofre reflexão total na interface da superfície vidro-água. Determine o ângulo  $\alpha$  tal que o raio emergja horizontalmente do prisma. O índice de refração da água é  $4/3$  e, o do vidro,  $\sqrt{19}/3$ .

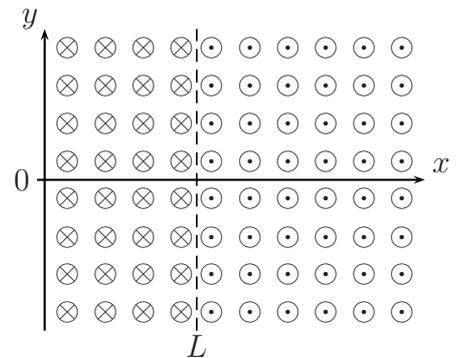


**Questão 27.** Morando em quartos separados e visando economizar energia, dois estudantes combinam de interligar em série cada uma de suas lâmpadas de 100 W. Porém, verificando a redução da claridade em cada quarto, um estudante troca a sua lâmpada de 100 W para uma de 200 W, enquanto o outro também troca a sua de 100 W para uma de 50 W. Em termos de claridade, houve vantagem para algum deles? Por quê? Justifique quantitativamente.

**Questão 28.** Uma massa  $m$  suspensa por uma mola elástica hipotética, de constante de mola  $k$  e comprimento  $d$ , descreve um movimento oscilatório de frequência angular  $\omega = \sqrt{k/m}$  quando ela é deslocada para uma posição  $z_0 = 2z_e$ , abaixo de sua posição de equilíbrio em  $z = z_e$ , e solta em seguida. Considerando nula a força da mola para  $z < 0$ , determine o período de oscilação da massa e os valores de  $z$  entre os quais a mesma oscila.



**Questão 29.** Um próton com uma velocidade  $\mathbf{v} = 0,80 \times 10^7 \mathbf{e}_x$  m/s move-se ao longo do eixo  $x$  de um referencial, entrando numa região em que atuam campos de indução magnéticos. Para  $x$  de 0 a  $L$ , em que  $L = 0,85$  m, atua um campo de intensidade  $B = 50$  mT na direção negativa do eixo  $z$ . Para  $x > L$ , um outro campo de mesma intensidade atua na direção positiva do eixo  $z$ . Sendo a massa do próton de  $1,7 \times 10^{-27}$  kg e sua carga elétrica de  $1,6 \times 10^{-19}$  C, descreva a trajetória do próton e determine os pontos onde ele cruza a reta  $x = 0,85$  m e a reta  $y = 0$  m.



**Questão 30.** Uma partícula eletricamente carregada move-se num meio de índice de refração  $n$  com uma velocidade  $v = \beta c$ , em que  $\beta > 1$  e  $c$  é a velocidade da luz. A cada instante, a posição da partícula se constitui no vértice de uma frente de onda cônica de luz por ela produzida que se propaga numa direção  $\alpha$  em relação à da trajetória da partícula, incidindo em um espelho esférico de raio  $R$ , como mostra a figura. Após se refletirem no espelho, as ondas convergem para um mesmo anel no plano focal do espelho em  $F$ . Calcule o ângulo  $\alpha$  e a velocidade  $v$  da partícula em função de  $c$ ,  $r$ ,  $R$  e  $n$ .

